



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 43 757 A1** 2004.04.01

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 43 757.2**
(22) Anmeldetag: **20.09.2002**
(43) Offenlegungstag: **01.04.2004**

(51) Int Cl.⁷: **H01L 33/00**
H01L 21/268, H01L 21/58

(66) Innere Priorität:
202 14 521.2 19.09.2002

(71) Anmelder:
OSRAM Opto Semiconductors GmbH, 93049 Regensburg, DE

(74) Vertreter:
**Epping Hermann Fischer,
Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

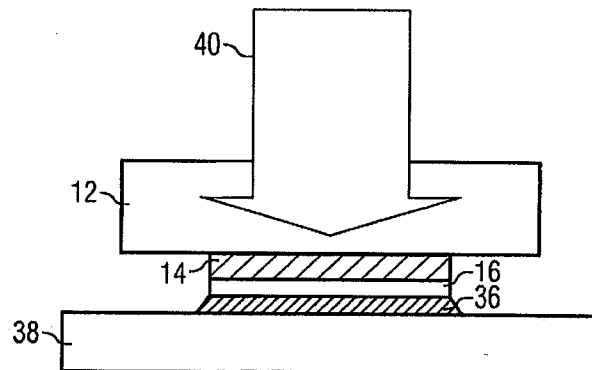
(72) Erfinder:
**Kaiser, Stephan, Dr., 93051 Regensburg, DE;
Härle, Volker, Dr., 93164 Laaber, DE; Plöchl,
Andreas, Dr., 93053 Regensburg, DE; Hahn,
Berthold, Dr., 93155 Hemau, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung von Halbleiterchips**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Herstellung von Halbleiterchips, bei dem eine auf einem Substrat aufgewachsene Halbleiterschicht mit ihrer von dem Substrat abgewandten Seite auf einen Träger aufgebracht wird und von dem Substrat durch Bestrahlen mit einem gepulsten Laserstrahl getrennt wird, ist erfindungsgemäß vorgesehen, daß der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T auf das Strahlungsprofil und die Pulslänge der Laserstrahlpulse und auf den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschicht α_{HL} und den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_S des Substrats abgestimmt gewählt wird, um Verspannungen zwischen Substrat, Halbleiterschicht und Träger während der Herstellung zu reduzieren.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Halbleiterchips, bei dem eine auf einem Substrat aufgewachsene Halbleiterschicht mit ihrer von dem Substrat abgewandten Seite auf einen Träger aufgebracht wird und von dem Substrat durch Bestrahlen mit einem gepulsten Laserstrahl getrennt wird.

[0002] Ein derartiges Verfahren kommt beispielsweise bei der Herstellung substratloser Lumineszenzioden auf Basis von GaN zum Einsatz. Dabei wird zunächst eine Halbleiterschicht oder eine Halbleiterschichtfolge auf einem geeigneten Substrat aufgewachsen. Die Halbleiterschicht wird mit einem Träger verbunden und dann durch Laserbeschuss vom Substrat abgelöst. Nach dem Zerteilen des Trägers mit der darauf aufgetragenen Halbleiterschicht entstehen die vereinzelt Chips. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, daß der Träger entsprechend seiner mechanischen, elektrischen, thermischen und optischen Eigenschaften unabhängig von den Anforderungen an das Wachstumssubstrat für die Halbleiterschicht gewählt werden kann.

Stand der Technik

[0003] Die Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat kann beispielsweise durch Laserablösen, wie in der Druckschrift WO 98/14986 beschrieben, erfolgen. Dabei wird die für die Ablösung von GaN- und GaInN-Schichten von einem Saphirsubstrat die frequenzverdreifachte Strahlung eines Q-switch Nd:YAG-Lasers bei 355 nm verwendet. Das Saphirsubstrat ist für Strahlung dieser Wellenlänge transparent. Die Strahlungsenergie wird in einer etwa 100 nm dicken Grenzschicht am Übergang zwischen dem Saphirsubstrat und der GaN-Halbleiterschicht absorbiert. Bei Pulsenergien oberhalb von 200 mJ/cm² werden an der Grenzfläche Temperaturen von mehr als 850 °C erreicht. Die GaN-Grenzschicht zersetzt sich bei dieser Temperatur unter Freisetzung von Stickstoff, die Bindung zwischen der Halbleiterschicht und dem Substrat wird getrennt.

[0004] Der Träger dient zur Stabilisierung der dünnen Halbleiterschicht nach der Trennung vom Wachstumssubstrat, da die Schichtdicke der Halbleiterschicht in der Regel so gering ist, daß ansonsten die Gefahr einer Beschädigung der Halbleiterschicht besteht.

[0005] Bei dem bekannten Verfahren des Laserablösens dünner Halbleiterschichten besteht die Gefahr, daß bei der Ablösung der Halbleiterschicht aufgrund unvollständiger Materialzersetzung Reste des Substratmaterials an der Halbleiterschicht haften bleiben. So wurden Saphirkörner mit einem Durchmesser zwischen 5 µm und 100 µm auf GaN-Schichten gefunden, die in der beschriebenen Weise von Saphirsubstraten abgelöst wurden. Diese Rückstände müssen für die weitere Verarbeitung der

GaN-Schichten aufwendig entfernt werden, oder es wird nur ein Teil der GaN-Schicht für die Prozessierung von Chips verwendet.

[0006] Hier setzt die Erfindung an. Der Erfindung, wie sie in den Ansprüchen gekennzeichnet ist, liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Herstellungsverfahren für Halbleiterchips anzugeben, bei dem eine auf einem Substrat aufgewachsene Halbleiterschicht auf einen Träger aufgebracht wird und von dem Substrat durch Bestrahlen mit einem gepulsten Laserstrahl getrennt wird.

[0007] Diese Aufgabe wird durch das Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen 2 bis 23.

[0008] Erfindungsgemäß ist bei einem Verfahren der eingangs genannten Art vorgesehen, daß der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T abgestimmt auf das Strahlungsprofil und die Pulslänge der Laserstrahlpulse und auf den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschicht α_{HL} und den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_S des Substrats gewählt wird. Dadurch können Verspannungen zwischen Substrat, Halbleiterschicht und Träger während der Herstellung deutlich reduziert werden. Die Gefahr von Rißbildungen im Träger oder in der Halbleiterschicht wird damit stark herabgesetzt.

[0009] Die Erfindung baut dabei auf der Beobachtung der gegenwärtigen Erfinder auf, dass sich die Spotprofile der zur Ablösung der Halbleiterschichten verwendeten Laserpulse oft nach dem Laserbeschuss auf der Halbleiteroberfläche erkennen lassen. Im Fall der Ablösung von GaN-Halbleiterschichten bleibt etwa nach der Dissoziation des GaN metallisches Gallium auf der Oberfläche zurück. Untersuchungen der Erfinder ergaben weiter, daß an den Rändern der Laserspots Risse im GaN-Material entstehen, die bei einer weiteren Prozessierung des Materials zum lokalen Abplatzen der Halbleiterschicht von dem darunterliegenden Träger führen.

[0010] Es wurde nun gefunden, daß hierfür vor allem thermische Effekte verantwortlich sind. Um etwa bei einer GaN-Halbleiterschicht eine Dissoziation des GaN zu erreichen, müssen lokal Temperaturen von etwa 800 °C bis 1000 °C in der Halbleiterschicht erreicht werden. Fällt die Energiedichte am Rand des Laserspots stark ab, so können im Inneren des Laserspots die für die Ablösung erforderlichen Temperaturen erreicht werden, während das Halbleitermaterial in unmittelbarer Umgebung des Laserspots vergleichsweise kalt bleibt.

[0011] Zwar fallen die an der GaN-Oberfläche erreichten Temperaturen über die Schichtdicke der Halbleiterschicht deutlich ab, doch werden an der Trägerseite der Halbleiterschicht im Bereich des Laserspots noch Temperaturen von bis zu 400 °C erreicht. Somit entstehen aufgrund der lokal unterschiedlichen Temperaturen im Laserspot und außerhalb des Spots sowohl in der Halbleiterschicht als

auch im Träger aufgrund der im allgemeinen unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Halbleitermaterials und des Trägermaterials Zugverspannungen, die zur beobachteten Ausbildung von Rissen im Halbleitermaterial an den Laserspoträndern führen können.

[0012] Bei der weiteren Prozessierung von derartigen mit Rissen versehenen Halbleiterschichten entsteht beispielsweise das Problem, daß Säure entlang der Risse unter die Halbleiterschicht kriechen und dort etwa eine Bondmetallisierung zerstört.

[0013] Nach der Erfindung werden nun spezielle, in ihren thermischen Eigenschaften adaptierte Trägermaterialien verwendet. Dabei werden für die Wahl des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Trägers α_T insbesondere zwei Prozeßschritte in Betracht gezogen:

1) Der Bondprozeß: Beim Bondprozeß wird das Substrat mit der darauf epitaxierten Halbleiterschicht zusammen mit dem Träger ganzflächig auf eine Temperatur von typischerweise etwa 400 °C aufgeheizt und anschließend wieder allmählich auf Zimmertemperatur abgekühlt. In diesem Schritt ist der Verspannungshaushalt des Schichtpakets Substrat/Halbleiterschicht/Träger im wesentlichen durch das Substrat und den Träger bestimmt. Weichen die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Substrat und Träger, α_S und α_T , zu stark voneinander ab, so kann sich das Schichtpaket beim Abkühlen verbiegen. Es können sich auch Risse im Träger bilden, so daß das entstehende Chip keine ausreichende Stabilität mehr aufweist.

Dieses Problem ist in der Fig. 1 illustriert. Bei dem dort schematisch dargestellten Waferpaket 10 ist eine GaN-Halbleiterschicht 14 auf einem Saphirsubstrat 12 aufgewachsen. Die von dem Substrat 12 abgewandte Seite der Halbleiterschicht 14 ist mit einer Kontaktmetallisierung 16 versehen. Auf der Kontaktmetallisierung 16 ist als Träger ein Bondwafer 18 bei einer Temperatur von etwa 400 °C aufgelötet. Ist nun der thermische Ausdehnungskoeffizient α_T des Trägers wesentlich kleiner als der thermische Ausdehnungskoeffizient α_S des Saphirsubstrats, so können sich bei diesem Bondschritt Risse 20 im Bondwafer 18 bilden.

2) Der Laserbeschuß: Bei diesem Prozeßschritt wird das Halbleitermaterial innerhalb des Laserspots lokal auf eine Temperatur oberhalb der Zersetzungstemperatur des Halbleitermaterials aufgeheizt, während das Substratmaterial aufgrund seiner vernachlässigbaren Absorption der Laserstrahlung kalt bleibt. Da durch den Laserbeschuß die Bindung zwischen dem Halbleitermaterial und dem Substrat durch Dissoziation aufgehoben wird, bestimmt der Unterschied der thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Halbleiterschicht und Träger, α_{HL} und α_T , den Verspannungshaushalt im Schichtpaket. Bei großem Unterschied zwischen α_{HL} und α_T können Zugverspannungen entstehen, die zur Rissbildung im Halbleitermaterial an den Stellen der Spotränder führen können.

[0014] Fig. 2 erläutert die Problematik wieder für die Ablösung einer GaN-Schicht 14 von einem Saphirsubstrat 12. Bei Beschuß des Waferpakets 10 mit kurzen Laserpulsen 22 eines Excimerlasers wird die Laserstrahlung in einem grenznahen Bereich 24 der GaN-Schicht 14 absorbiert und erzeugt dort Temperaturen von 800 °C bis 1000 °C. Auf der dem Substrat abgewandten Seite der Halbleiterschicht 14 und im angrenzenden Bereich 26 werden noch Temperaturen bis zu etwa 400 °C erreicht. Außerhalb des Laserspots bleibt die GaN-Schicht 14 und die Bondmetallschicht 16 vergleichsweise kalt. Die Temperatur in den unmittelbar an den Laserspot angrenzenden Bereichen 28 und 30 liegt typischerweise deutlich unterhalb von 300 °C. Bei Bestehen stark unterschiedlicher thermischer Ausdehnungskoeffizienten zwischen der GaN-Schicht 14 und dem Material des Bondwafers 18 können so Risse 32 in der epitaktischen GaN-Schicht 14 entstehen.

[0015] Um Rissbildungen im Träger und in der Epischicht zu vermeiden, muß daher ein Trägermaterial gewählt werden, dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient α_T sich weder von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Substrats α_S noch von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschicht α_{HL} zu stark unterscheidet. In die Wahl eines geeigneten thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_T geht auch, wie weiter unten ausführlich geschildert, das Strahlungsprofil und die Pulslänge der Laserstrahlung ein.

[0016] Insbesondere ist in einer bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, dass der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T näher an dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschicht α_{HL} als an dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_S des Substrats gewählt wird. Mit einer derartigen Wahl kann die Ausbildung von Rissen in der Halbleiterschicht wirkungsvoll reduziert oder ganz vermieden werden.

[0017] Dabei ist es zweckmäßig, wenn sich der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T um 45% oder weniger, bevorzugt um 40% oder weniger von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_S des Substrats unterscheidet. Insbesondere ist für ein Saphirsubstrat mit

$$\alpha(\text{Al}_2\text{O}_3) = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

ein Trägermaterial bevorzugt, dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient α_T zwar unterhalb von $\alpha(\text{Al}_2\text{O}_3)$ liegt, aber größer als $4,125 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, insbesondere größer als $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ist.

[0018] Mit Bezug auf die thermischen Eigenschaften der Halbleiterschicht ist es erfindungsgemäß vorteilhaft, wenn sich der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T um 35% oder weniger, bevorzugt von 25% oder weniger von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_{HL} der Halbleiterschicht

unterscheidet. Insbesondere bei Ablösung einer GaN-basierten Halbleiterschicht mit

$$\alpha(\text{GaN}) = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$$

ist ein Trägermaterial bevorzugt, dessen thermischer Ausdehnungskoeffizient α_T zwar oberhalb von $\alpha(\text{GaN})$ liegt, aber kleiner als $5,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, insbesondere kleiner als $5,6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ ist.

[0019] Für die Ablösung einer GaN- oder GaInN-Schicht von einem Saphirsubstrat ist somit ein Träger mit einem thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen $4,125 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $5,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, insbesondere zwischen $4,5 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und $5,6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ besonders gut geeignet.

[0020] Bei einer derartigen Wahl des thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_T kann für die Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat eine große Pulslänge der Laserstrahlpulse, insbesondere eine Pulslänge größer als 15 ns gewählt werden, ohne dass sich eine Rißbildung in der Halbleiterschicht ergibt.

[0021] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfaßt der Träger Molybdän. Molybdän weist mit

$$\alpha(\text{Mo}) = 5,21 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$$

einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf, der deutlich näher an $\alpha(\text{GaN})$ liegt, als etwa GaAs mit $\alpha(\text{GaAs}) = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Bei dem Waferpaket Molybdän-Bondwafer/GaN-Halbleiterschicht/Saphir-Substrat ist die vorgenannte Problematik der Rißbildung beim Laserbeschuß deutlich reduziert. Molybdän ist zudem stabil genug, so daß beim Bonden oder beim Abkühlen von der Bondtemperatur auf Raumtemperatur keine Risse entstehen.

[0022] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens umfaßt der Träger eine Eisen-Nickel-Kobalt-Legierung, die mit

$$\alpha(\text{Fe-Ni-Co}) = 5,1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$$

ebenfalls einen günstigen thermischen Ausdehnungskoeffizienten aufweist. Auch Wolfram, mit

$$\alpha(\text{Wo}) = 4,7 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$$

hat sich als vorteilhaftes Material für den Träger herausgestellt. Dabei sind die metallischen Trägermaterialien aufgrund ihrer Zähigkeit während des Bondprozesses und während des Abkühlens auf Raumtemperatur kaum rißempfindlich.

[0023] Es ist im Rahmen der Erfindung auch möglich, bei der Auswahl des thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Trägers eine größere Toleranz be-

zogen auf den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschicht zuzulassen, wenn kürzere Laserpulse verwendet werden. So kann sich nach der Erfindung der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T um 35% oder mehr von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_{HL} der Halbleiterschicht unterscheiden, wenn für die Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat eine kleine Pulslänge der Laserstrahlpulse, insbesondere eine Pulslänge kleiner als etwa 15 ns gewählt wird. Dies gestattet insbesondere die Verwendung eines GaAs-Bondwafers mit $\alpha(\text{GaAs}) = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ bei kurzen Pulsdauern.

[0024] In einer bevorzugten Weiterentwicklung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, daß die Laserstrahlpulse ein planes räumliches Strahlungsprofil, insbesondere ein rechteckartiges oder trapezartiges räumliches Strahlungsprofil mit einem zentralen Plateau aufweisen. Dabei ist unter einem planen räumlichen Strahlungsprofil eine Intensitätsverteilung des Laserstrahls zu verstehen, bei der sich an einen zentralen Bereich mit im wesentlichen konstanter Intensität jeweils steile Flanken mit rasch abfallender Intensität anschließen. Die relative Schwankung der Strahlintensität im zentralen Bereich ist vorzugsweise geringer als 5 Prozent. Durch ein solches Strahlprofil wird die Anzahl der Substratrückstände gegenüber herkömmlichen Ablöseverfahren deutlich verringert.

[0025] Es versteht sich, daß das Verfahren Maßnahmen zur Verbesserung der Strahlqualität, wie etwa einen nachgeschalteten Strahlhomogenisierer vorsehen kann.

[0026] Werden Laserpulse mit einem Strahlprofil verwendet, das an den Rändern einen weniger abrupten Abfall der Intensität aufweist, können weniger strenge Anforderungen an die thermischen Eigenschaften des Trägermaterials gestellt werden, da die Verspannungskräfte im Schichtpaket dann geringer ausfallen.

[0027] Bevorzugt wird erfindungsgemäß zur Erzeugung der Laserstrahlpulse ein Excimer-Laser, insbesondere mit XeF, XeBr, XeCl, KrCl oder KrF als laseraktivem Medium eingesetzt. Excimerlaser weisen aufgrund der hohen Verstärkung und der Resonatorgeometrie ein für die Erfindung gut geeignetes planes Strahlungsprofil auf. Auch ist die Emissionswellenlänge zwischen 200 nm und 400 nm für die Ablösung von Nitrid-Verbindungshalbleitern gut geeignet.

[0028] Bei Halbleiterschichten mit größerer lateraler Ausdehnung kann es vorteilhaft sein, zur Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat mehrere Einzelbereiche der Halbleiterschicht nacheinander mit Laserpulsen zu bestrahlen. Dadurch kann eine zu große Aufweitung des Laserstrahls vermieden werden, die die Energiedichte unterhalb der Zersetzungsschwelle für das Halbleitermaterial sinken lassen könnte. Es versteht sich, daß sich die Einzelbereiche mit Vorteil teilweise überlappen und zusammen die gesamte abzulösende Fläche abdecken.

[0029] Das Verfahren ist besonders gut für Halbleiterschichten anwendbar, die mindestens einen Nitrid-Verbindungshalbleiter enthalten. Nitrid-Verbindungshalbleiter sind beispielsweise Nitridverbindungen von Elementen der dritten und/oder fünften Hauptgruppe des Periodensystems wie GaN, AlGaN, InGaN, AlIn-GaN, AlN oder InN. Die Halbleiterschicht kann dabei auch eine Mehrzahl von Einzelschichten umfassen.

[0030] Für das epitaktische Aufwachsen von Nitrid-Verbindungshalbleiter-Schichten eignet sich als Substrat insbesondere Silizium, Siliziumkarbid oder Aluminiumoxid. Saphirsubstrate sind für die UV-Strahlung des Excimerlasers durchlässig, so daß die Halbleiterschichten dann vorteilhaft durch Bestrahlung durch das Saphirsubstrat hindurch abgelöst werden können.

[0031] Die Halbleiterschicht wird beispielsweise mittels eines Gold-Zinn-Lots mit einem hohen Goldanteil von 65 bis 85 Gew-% oder mit einem Palladium-Indium-Lot auf den Träger gelötet.

[0032] Vor dem Aufbringen der Halbleiterschicht auf den Träger kann bei dem erfindungsgemäßen Verfahren auf die dem Substrat abgewandte Seite der Halbleiterschicht eine Metallisierung aufgebracht werden. Die Metallisierung enthält dabei bevorzugt Gold und/oder Platin.

[0033] Das erfindungsgemäße Verfahren kann mit Vorteil bei Dünnschichtchips angewandt werden, bei denen die Halbleiterschicht typischerweise eine Dicke unterhalb von etwa 50 µm aufweist. Der Halbleiterchip kann beispielsweise ein optoelektronischer Chip, insbesondere ein strahlungserzeugender Chip wie eine Lumineszenzdiodenchip sein.

[0034] Als weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens hat sich herausgestellt, daß durch die Verwendung thermisch angepaßter Träger auch das Problem der unzureichenden Haftung zwischen Halbleiterschicht und Träger gelöst wird, das in der Vergangenheit beispielsweise bei GaN-Epischichten auf GaAs-Bondwafern beobachtet wurde. Die Kontrolle des Verspannungshaushaltes im gesamten Waferpaket nach der vorliegenden Erfindung schließt auch die Bondmetallisierung mit ein und schafft dadurch hinsichtlich der genannten Haftungsproblematik wirkungsvoll Abhilfe.

[0035] Wie weiter oben bereits kurz erwähnt eignet sich das Verfahren besonders bevorzugt für die Herstellung von strahlungsemitierenden und/oder strahlungsdetektierenden Chips auf Basis von Nitrid-III-V-Verbindungshalbleitermaterial, die insbesondere auf Saphir- oder SiC-Substraten aufgewachsen werden.

[0036] Unter die Gruppe von strahlungsemitierenden und/oder strahlungsdetektierenden Chips auf Basis von Nitrid-III-V-Verbindungshalbleitermaterial fallen vorliegend insbesondere solche Chips, bei denen die epitaktisch hergestellte Halbleiterschicht, die in der Regel eine Schichtfolge aus unterschiedlichen Einzelschichten aufweist, mindestens eine Einzel-

schicht enthält, die ein Material aus dem Nitrid-III-V-Verbindungshalbleitermaterial-System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$ aufweist. Die Halbleiterschicht kann beispielsweise einen herkömmlichen pn-Übergang, eine Doppelheterostruktur, eine Einfach-Quantentopfstruktur (SQW-Struktur) oder eine Mehrfach-Quantentopfstruktur (MQW-Struktur) aufweisen. Solche Strukturen sind dem Fachmann bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert.

[0037] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen, Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung des Ausführungsbeispiels und den Zeichnungen.

[0038] Die Erfindung soll nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels im Zusammenhang mit den Zeichnungen näher erläutert werden. Es sind jeweils nur die für das Verständnis der Erfindung wesentlichen Elemente dargestellt. Es zeigt

[0039] **Fig. 1** einen Zwischenschritt bei der Herstellung von Halbleiterchips zur Illustration der Problematik der Rißbildung im Bondwafer beim Bondprozeß;

[0040] **Fig. 2** einen weiteren Zwischenschritt bei der Herstellung von Halbleiterchips zur Illustration der Problematik der Rißbildung in der Halbleiterschicht beim Laserbeschuß;

[0041] **Fig. 3** in (a) bis (c) eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0042] **Fig. 4** in (a) und (b) eine schematische Darstellung der Intensitätsverteilung des in z-Richtung propagierenden Laserstrahls bei dem in **Fig. 3** gezeigten Verfahren, jeweils entlang der x- bzw. der y-Richtung; und

[0043] **Fig. 5** eine schematische Darstellung der Bestrahlungsabfolge der Oberfläche einer abzulösenden Halbleiterschicht mit einer Mehrzahl kissenförmiger Laserspots.

[0044] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei wird zunächst auf einem Saphirsubstrat **12** epitaktisch eine InGaN-Halbleiterschicht **14** aufgewachsen. Die Halbleiterschicht **14** wird auf ihrer vom Substrat **12** abgewandten Seite mit einer Kontaktmetallisierung **16** aus Gold und/oder Platin versehen, die einen niedrigeren Kontaktwiderstand zu später anzubringenden elektrischen Anschlüssen sicherstellt. Dann wird ein Bondwafer **38** aus Molybdän bei einer Fügetemperatur von 375 °C mit einem Lot **36** auf die Kontaktmetallisierung **16** aufgelötet. Als Lot **36** wird im Ausführungsbeispiel ein Gold-Zinn-Lot mit einem Goldanteil von 75 Gew% verwendet, das sich durch hohe Stabilität auszeichnet. Diese Situation ist in der **Fig. 3(a)** dargestellt.

[0045] Die thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Bondwafers $\alpha(\text{Mo}) = 5,21 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ und des Saphirsubstrats $\alpha(\text{Al}_2\text{O}_3) = 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ liegen relativ nahe beieinander. Darüber hinaus ist Molybdän zäh genug, so daß beim Bonden und beim Abkühlen von

der Bondtemperatur auf Zimmertemperatur keine Risse im Molybdänwafer 38 entstehen.

[0046] In einem nachfolgenden Schritt wird die Grenzfläche von Halbleiterschicht 14 und Saphirsubstrat 12 mit einem gepulsten Laserstrahl 40 eines XeF-Excimer-Lasers mit einer Wellenlänge von 351 nm und einer Pulsdauer von 25 ns bestrahlt (Fig. 3(b)). Während das Saphirsubstrat 12 für Strahlung dieser Wellenlänge transparent ist, wird sie in der InGaN-Halbleiterschicht 14 stark absorbiert. Eine dünne Grenzschicht am Übergang zum Substrat 12 heizt sich durch den Energieeintrag auf Temperaturen von 800 °C bis 1000 °C auf. Bei dieser Temperatur zersetzt sich das Halbleitermaterial im Laserspot unter Freisetzung von Stickstoff und trennt die Bindung zwischen der Halbleiterschicht 14 und dem Substrat 12.

[0047] Nachdem die gesamte Oberfläche der Halbleiterschicht 14 mit derartigen Laserpulsen abgerastert und von der Substratoberfläche getrennt wurde, kann das Saphirsubstrat 12, wie in Fig. 3(c) gezeigt, abgehoben und entfernt werden.

[0048] Um eine möglichst rückstandsfreie Abtrennung des Saphirsubstrats 12 von der Halbleiteroberfläche zu erreichen, werden im Ausführungsbeispiel Laserpulse mit einem planen, fast rechteckigen räumlichen Strahlungsprofil verwendet. Fig. 4 zeigt für den in z-Richtung propagierenden Laserstrahl der Fig. 3(b) die Intensitätsverteilung der Strahlung im Laserspot entlang der x-Richtung (Fig. 4(a)) und der y-Richtung (Fig. 4(b)). Insgesamt ergibt sich ein kissenähnliches Laserspotprofil, wie durch jeden der Laserspots 52 der Fig. 5 angezeigt.

[0049] Die Strahlungsintensität des Laserstrahls weist sowohl in x-, als auch in y-Richtung ein im wesentlichen konstantes Plateau auf, an das sich jeweils Flanken schnell abfallender Intensität anschließen. Der im Ausführungsbeispiel verwendete XeF-Excimer-Laser ist aufgrund der hohen Verstärkung und der Resonatorgeometrie für die Erzeugung eines solchen planen Laserspotprofils ausgezeichnet geeignet.

[0050] Durch die kissenartigen Laserspots kann in der GaInN-Halbleiterschicht beim Laserbeschuß im inneren Bereich des Laserspots eine homogene, über der Zersetzungstemperatur liegende Temperatur erreicht werden. Zwischen aufeinanderfolgenden Laserpulsen wird der Laserstrahl relativ zur Oberfläche der Halbleiterschicht 14 versetzt, bis die gesamte Oberfläche der Halbleiterschicht zeilenweise abgerastert ist. Vier untereinanderliegende Zeilen dieses aus einzelnen Laserspotprofilen 52 zusammengesetzten Rasters sind in dem Ausschnitt 50 der Fig. 5 dargestellt. Benachbarte Zeilen überlappen dabei in y-Richtung und sind in x-Richtung gegeneinander versetzt, so daß die Bindung zwischen der Halbleiterschicht 14 und dem Substrat 12 an jedem Punkt der Oberfläche aufgehoben wird.

[0051] Beim Laserbeschuß werden auf der dem Substrat abgewandten Seite der Halbleiterschicht 14

und im angrenzenden Bereich noch Temperaturen bis etwa 400 °C erreicht. Außerhalb des Laserspots bleibt die Halbleiterschicht 14 und die Metallisierung mit Temperaturen deutlich unterhalb von 300 °C vergleichsweise kalt.

[0052] Aufgrund der aufeinander abgestimmten, nahe beieinander liegenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten des Bondwafers $\alpha(\text{Mo}) = 5,21 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und der Halbleiterschicht $\alpha(\text{GaN}) = 4,3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, treten jedoch keine durch diese Temperaturdifferenzen verursachten Risse im Halbleitermaterial auf.

[0053] Während die Erfindung insbesondere mit Bezug auf bevorzugte Ausführungsbeispiele gezeigt und beschrieben worden ist, versteht sich für den Fachmann, dass Änderungen in Gestalt und Einzelheiten gemacht werden können, ohne von dem Gedanken und Umfang der Erfindung abzuweichen. Dementsprechend soll die Offenbarung der vorliegenden Erfindung nicht einschränkend sein. Statt dessen soll die Offenbarung der vorliegenden Erfindung den Umfang der Erfindung veranschaulichen, der in den nachfolgenden Ansprüchen dargelegt ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Halbleiterchips, bei dem eine auf einem Substrat aufgewachsene Halbleiterschicht mit ihrer von dem Substrat abgewandten Seite auf einen Träger aufgebracht wird und von dem Substrat durch Bestrahlen mit einem gepulsten Laserstrahl getrennt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T auf das Strahlungsprofil und die Pulslänge der Laserstrahlpulse und auf den thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschicht α_{HL} und den thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_S des Substrats abgestimmt gewählt wird, um Verspannungen zwischen Substrat, Halbleiterschicht und Träger während der Herstellung zu reduzieren.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T näher an dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten der Halbleiterschicht α_{HL} als an dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_S des Substrats gewählt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß sich der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T um 45% oder weniger, bevorzugt um 40% oder weniger von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_S des Substrats unterscheidet.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T um 35% oder weniger, bevorzugt von 25% oder we-

niger von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_{HL} der Halbleiterschicht unterscheidet.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß für die Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat eine große Pulslänge der Laserstrahlpulse, insbesondere eine Pulslänge größer als 15 ns gewählt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß sich der thermische Ausdehnungskoeffizient des Trägers α_T um 35% oder mehr von dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten α_{HL} der Halbleiterschicht unterscheidet, und bei dem für die Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat eine kleine Pulslänge der Laserstrahlpulse, insbesondere eine Pulslänge kleiner als etwa 15 ns gewählt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Laserstrahlpulse ein planes räumliches Strahlungsprofil, insbesondere ein rechteckartiges oder trapezartiges räumliches Strahlungsprofil mit einem zentralen Plateau aufweisen.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung der Laserstrahlpulse ein Excimer-Laser, insbesondere mit XeF, XeBr, XeCl, KrCl oder KrF als laseraktivem Medium eingesetzt wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für die Trennung der Halbleiterschicht von dem Substrat mehrere Einzelbereiche der Halbleiterschicht nacheinander mit Laserpulsen bestrahlt werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht mindestens einen Nitrid-Verbindungshalbleiter enthält.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht eine Mehrzahl von Einzelschichten umfaßt.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht oder eine Einzelschicht ein Material aus dem Nitrid-III-V-Verbindungshalbleitermaterial-System $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ mit $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$ und $x + y \leq 1$ aufweist, insbesondere GaN, AlGaN, InGaN, AlInGaN, AlN oder InN enthält.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten zwischen etwa $4,3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und etwa $5,9 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ aufweist,

bevorzugt zwischen etwa $4,6 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ und etwa $5,3 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger Molybdän umfaßt.

15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger eine Eisen-Nickel-Kobalt-Legierung umfaßt.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger Wolfram umfaßt.

17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat Silizium, Siliziumkarbid oder Aluminiumoxid, insbesondere Saphir umfaßt.

18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht mittels eines Lots, das Gold und/oder Zinn oder Palladium und/oder Indium enthält, auf den Träger gelötet wird.

19. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Aufbringen der Halbleiterschicht auf den Träger auf die dem Substrat abgewandte Seite der Halbleiterschicht eine Metallisierung aufgebracht wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallisierung Gold und/oder Platin enthält.

21. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschicht eine Dicke unterhalb von etwa 50 μm aufweist.

22. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterchips Dünnschichtchips sind, bei denen von der aufgewachsenen Halbleiterschicht nach deren Aufwachsen das Substrat zumindest zum Teil entfernt ist.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterchips optoelektronische Chips, insbesondere strahlungserzeugende Chips wie Lumineszenzdiodechips sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

FIG 1

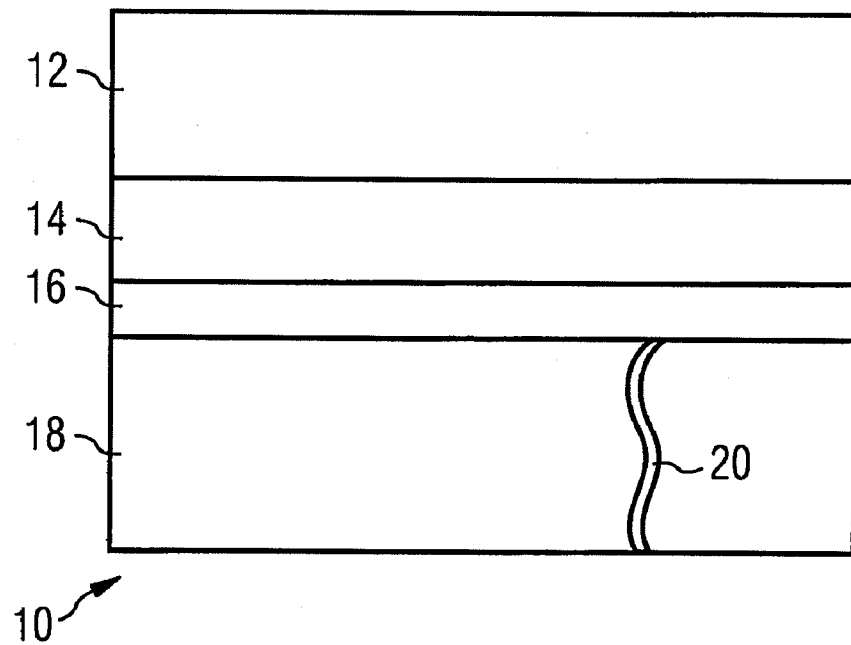


FIG 2

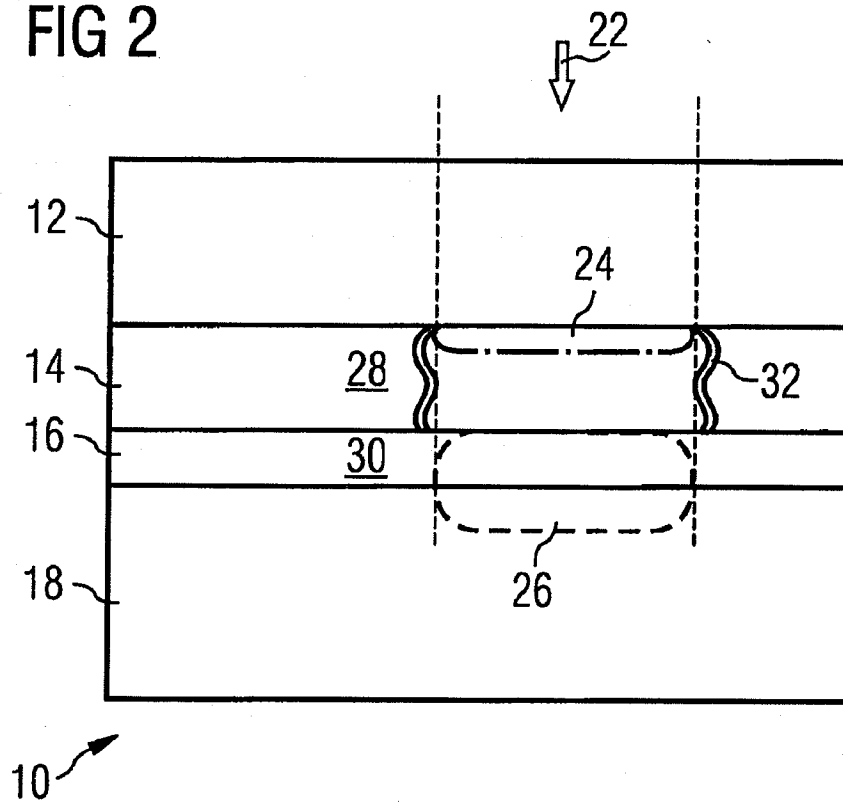


FIG 3A

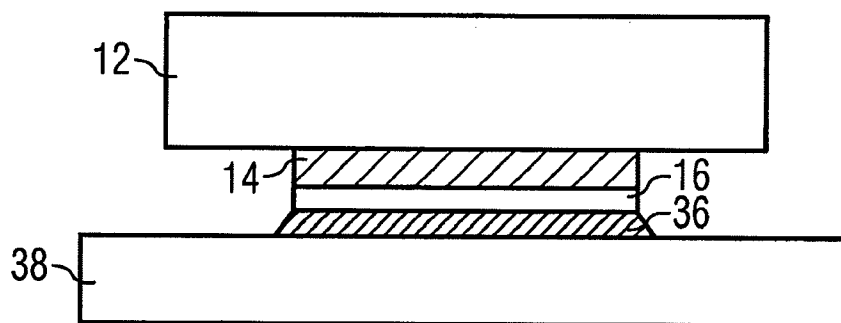


FIG 3B

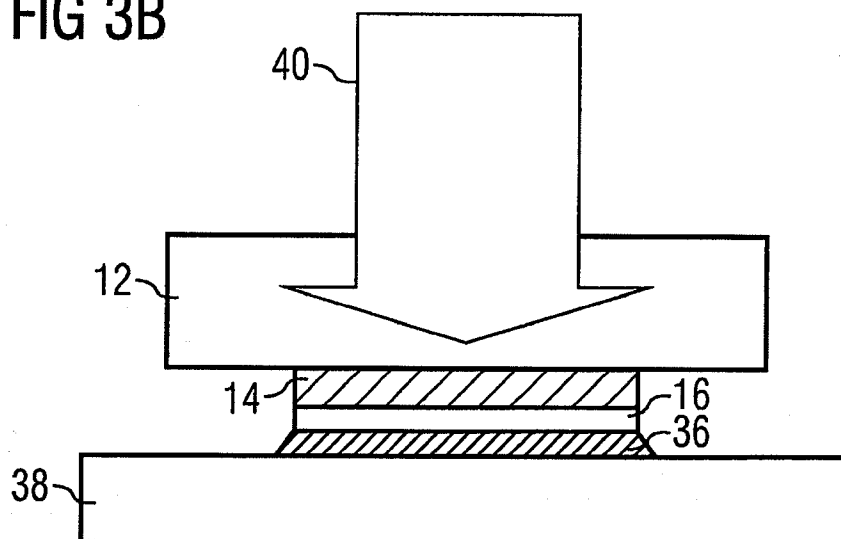


FIG 3C

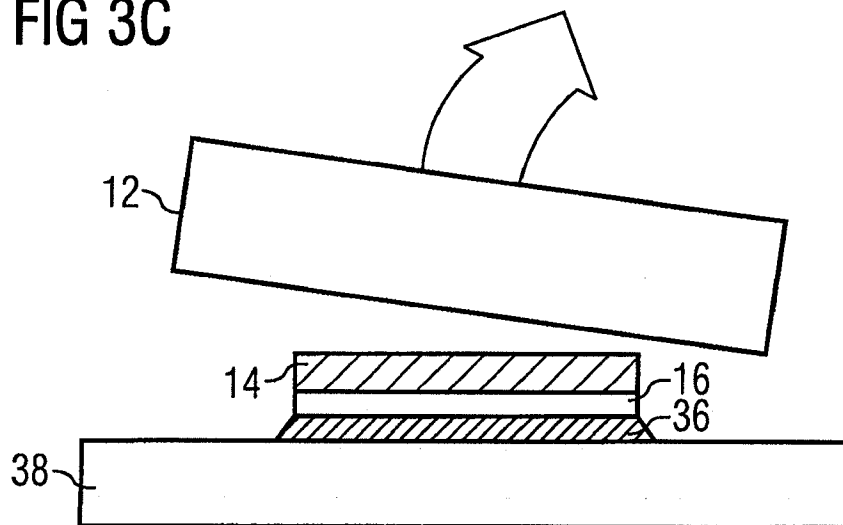


FIG 4A

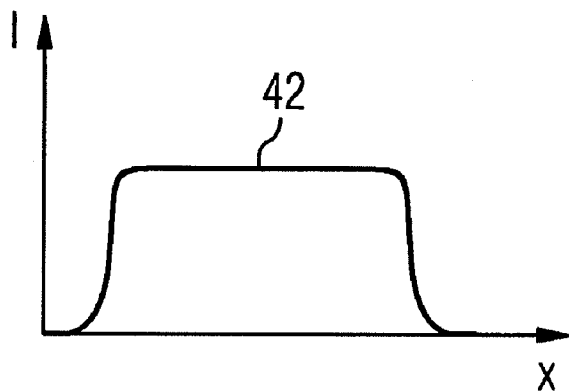


FIG 4B

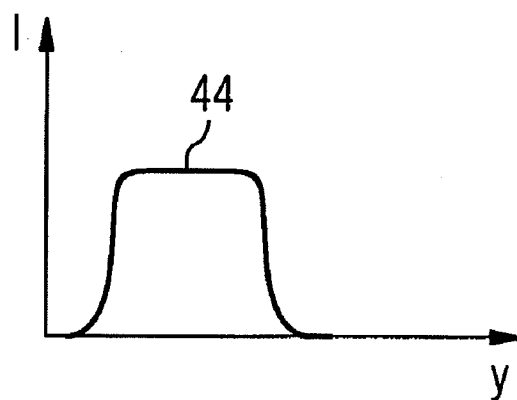


FIG 5

